

**EVALUASI TEGANGAN SENTUH DAN TEGANGAN LANGKAH
GARDU INDUK 150 KV BAWEN**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I
pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**

Oleh:

ANUGRAH SETYO WIBOWO

D400150031

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2019**

HALAMAN PERSETUJUAN
EVALUASI TEGANGAN SENTUH DAN TEGANGAN LANGKAH GARDU INDUK
150 KV BAWEN

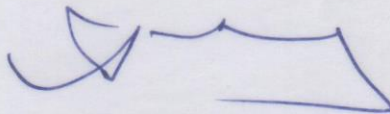
PUBLIKASI ILMIAH

Oleh:

Anugrah Setyo Wibowo
D400150031

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh :

Dosen Pembimbing



Ir. Jatmiko. M.T
NIK. 622

EVALUASI TEGANGAN SENTUH DAN TEGANGAN LANGKAH GARDU INDUK 150 KV BAWEN

OLEH

Anugrah Setyo Wibowo
D400150031

**Telah dipertahankan di Dewan Penguji
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada Hari Selasa, 6 Agustus 2019
dan dinyatakan telah memenuhi syarat**

Dewan Penguji:

1. Ir. Jatmiko, M.T
(Ketua Dewan Penguji)
2. Agus Supardi, S.T, M.T
(Anggota 1 Dewan Penguji)
3. Tindyo Prasetyo, S.T, M.T
(Anggota 2 Dewan Penguji)

(.....)

(.....)

(.....)

Dekan,



Ir. Sri Sunarjono, M.T, Ph. D

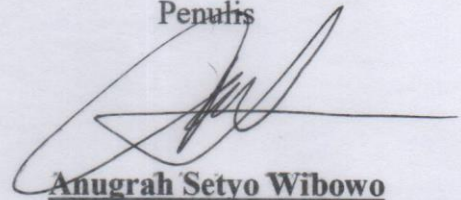
NIK. 628

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam publikasi ilmiah ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kerjasama di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak dapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka. Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggung jawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 6 Agustus 2019

Penulis



Anugrah Setyo Wibowo

D400150031

EVALUASI TEGANGAN SENTUH DAN TEGANGAN LANGKAH GARDU INDUK 150 KV BAWEN

Abstrak

Sistem pentanahan sering disebut *grounding* adalah sistem pengamanan terhadap alat atau instalasi yang terkoneksi dengan listrik sebagai sumber. Dimana perangkat-perangkat listrik dihubungkan dengan bumi sehingga dapat mengamankan komponen instalasi dan keselamatan manusia dari bahaya gangguan listrik. Sistem pentanahan atau grounding merupakan bagian signifikan dari sistem tenaga listrik. Oleh sebab itu perlu perhitungan manual yang teliti untuk mendapatkan nilai tegangan sentuh dan tegangan langkah tersebut aman untuk instalasi listrik dan manusia khususnya pekerja di Gardu Induk Bawen. Dalam penelitian ini penulis menggunakan metode literatur yaitu pengumpulan dan pengambilan data yang berkaitan dengan tegangan sentuh, tegangan langkah dan tegangan pindah yang berada di gardu Induk 150 kV Bawen. Untuk hasil penelitian ini diketahui nilai tahanan pentanahan di Gardu Induk Bawen memiliki hasil 0.3 ohm selama kurang waktu 2019. Dalam perhitungan manual pada penelitian ini mebuatkan hasil yaitu nilai dari tegangan sentuh maksimal yang di izinkan yaitu 656 volt dan nilai dari tegangan sentuh maksimal yang sebenarnya yaitu 109.02 volt, serta nilai tegangan langkah yang diizinkan yaitu 3116 volt dan nilai dari tegangan sentuh yang sebenarnya yaitu 1947.78 volt yang terakhir yaitu nilai tegangan pindah 81.19 kV. Nilai-nilai tersebut dihitung dengan manual dan didasari oleh beberapa teori yang berhubungan dengan hasil tersebut.

Kata kunci : Gardu Induk, Tegangan Langkah, Tegangan Sentuh, Tegangan Pindah

Abstract

Grounding systems are often called grounding is a system of security against tools or installations connected to electricity as a source. Where electrical devices are connected to the earth so that they can secure the components of installation and human safety from the danger of electrical interference. Grounding system or grounding is a significant part of the electric power system. Therefore it is necessary to do manual calculations to determine the value of touch voltage and step voltage safe for electrical and human installations, especially workers in the Bawen Substation. In this study the author uses the literature method of collecting and retrieving data relating to touch voltage, step voltage and the voltage moved which was in the Bawen 150 kV substation. For the results of this study it is known that the value of ground resistance in Bawen Substation has a 0.3 ohm yield for less than 2019. In the manual calculation this study produces results namely the maximum allowable touch voltage of 656 V and the value of maximum touch voltage the actual value is 109.02 V, and the value of the allowable step voltage is 3116 V and the value of the actual touch voltage is 1947.78 V, the last being the value of moving voltage 81.19 kV. These values are calculated manually and based on several theories related to these results.

Keywords: Substation, Step Voltage, Touch Voltage, Moving Voltage

1.PENDAHULUAN

Sistem pentanahan sering disebut *grounding* adalah sistem proteksi atau pengamanan terhadap perangkat atau instalasi yang terkoneksi dengan listrik sebagai sumber. Dimana perangkat-perangkat listrik dihubungkan dengan bumi sehingga dapat mengamankan komponen instalasi dan keselamatan manusia dari bahaya gangguan listrik. Sistem grounding merupakan bagian signifikan dari sistem tenaga listrik. Oleh sebab itu perlu perhitungan manual untuk mendapatkan nilai tegangan sentuh dan tegangan langkah tersebut aman untuk instalasi listrik dan manusia khususnya pekerja di Gardu Induk Bawen. Dalam sebuah gardu induk terdapat sistem pertanahan karena berkaitan dengan sistem keandalan maka gardu induk tersebut harus mampu memproteksi instalasi listriknya dan pengguna dari bahaya sehingga keselamatan bisa tetap terjaga (Syofian, 2013).

Sistem pentanahan atau *graounding* pada dasarnya adalah penghantar konduktif yang dihubungkan ke tanah. Tujuan pentanahan yaitu untuk membatasi tegangan terhadap tanah agar masih dalam standar yang ditentukan dan mendeteksi gangguan hubungan antara penghantar dengan tanah sehingga peralatan yang terhubung akan otomatis memutus suplai dari penghantar tersebut (Suryamto, Taufik, Abdul kudas, 2015).

Diharapkan dengan sistem pentanahan ini gangguan dan bahaya yang terjadi bisa diatasi, agar tidak ada yang dirugikan bagi pekerja dan komponen-komponen listrik yang ada di gardu induk. Mengingat pentingnya sistem pentanahan pada gardu induk. Menghitung nilai gangguan tegangan pada Gardu Induk 150 kV Bawen khususnya tegangan langkah, tegangan sentuh dan tegangan pindah merupakan tujuan penelitian ini.

2. METODE

2.1 Studi Literatur

Penulis mencari langsung literatur berkaitan dengan tegangan langkah, tegangan sentuh, dan tegangan pindah baik dari jurnal internasional maupun dalam negeri untuk dijadikan referensi penulisan.

2.2 Survei Lokasi

Lokasi pengambilan data berlokasi di Jl. Lemah Ireng Raya, Namar, Bawen, Semarang, Gardu Induk 150 kV Bawen.

2.3 Pengumpulan Data

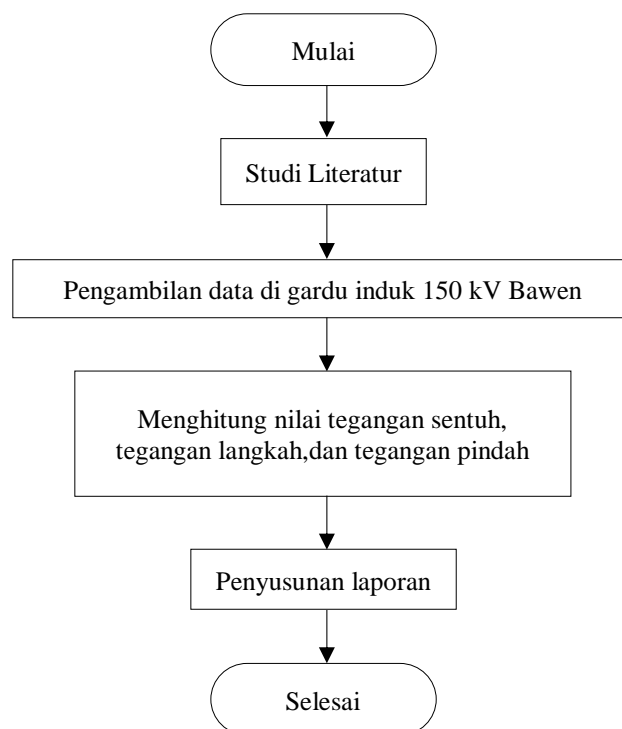
Mengambil data yang berkaitan dengan data penulisan yang terdapat di Gardu Induk 150 kV Bawen.

2.4 Konsultasi

Penulis melakukan konsultasi dengan tanya jawab pada dosen pembimbing dan juga kepada supervisor, karyawan yang bekerja di Gardu Induk 150 kV Bawen mengenai masalah yang dibahas pada penelitian ini.

2.5 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan dengan urutan pengerjaan dalam diagram alir gambar dibawah ini.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Umum

Pentanahan atau *grounding* adalah melakukan hubungan atau koneksi perangkat listrik ke bumi guna menghilangkan perbedaan potensial sehingga apabila terjadi kebocoran arus langsung di oper menuju tanah. Pada penelitian di gardu induk 150 kV Bawen sistem pentanahan yang digunakan yaitu bentuk *mesh* atau jala. Bentuk jala yaitu pentanahan dimana pemasangan kawat konduktor membujur dan melintang di bawah tanah yang terkoneksi satu dengan lainnya di setiap tempat yang membuat bentuknya seperti jala (IEEE Std. 80-2000). Konduktor pentanahan tersusun dari tembaga, *stainless steel* atau bahan dengan konduktivitas yang tinggi. Konduktor ditanam dengan posisi vertikal ke tanah dimana sudah ditentukan panjangnya (IEEE Std. 81-1983). Pada Gardu induk 150 kV Bawen konduktor ditanam 1 meter dengan batang tembaga memiliki diameter 50 mm, total panjang konduktor yang ditanam termasuk semua batang pentanahan memiliki nilai 4437 meter. Dalam penelitian ini diketahui nilai resistansi *grounding* gardu induk 150 kV Bawen mempunyai nilai 0.3 ohm selama kurang waktu tahun 2019.

3.2 Jenis Tanah

Pada gardu induk 150 kV Bawen jenis tanah yang digunakan yaitu tanah berbatu dan tanah pasir dimana nilai masing-masing tahanan jenis tanah yaitu 3000 Ω -m dan 1000 Ω -m.

Tabel 1. Tahanan Jenis Tanah

No	Jenis Tanah	Nilai (Ω -m)
1	Tanah bergaram	5-6
2	Rawa	30
3	Tanah Liat	100
4	Pasir Basah	200
5	Kerikil Basah	500
6	Pasir dan Kerikil	1000
7	Batu	3000

$$\rho = \frac{3000 + 1000}{2} = 2000 \Omega - m \quad (1)$$

Sehingga nilai tahanan jenis tanah adalah 2000 Ω -m

3.3 Arus Fibrilasi

Arus fibrilasi adalah suatu arus dimana arus tersebut masuk ke tubuh manusia dan arus tersebut berefek buruk bahkan bahaya seperti kejut, pingsan bahkan kematian.

Dapat dicari dengan rumus :

(2)

$$I_k = \frac{k}{\sqrt{t}}$$

Keterangan :

I_k = Arus fibrilasi (A)

k = 0.116 (Nilai yang digunakan untuk beban 50 kg)

t = 0.5 (Waktu atau lamanya gangguan tanah s)

$$I_k = \frac{0.116}{\sqrt{0.5}} = 0.164 \text{ A}$$

Maka arus fibrilasinya adalah 0.164 A

3.4 Arus Gangguan

Pada data arus hubung singkat 3 pasa di gardu induk 150 kV Bawen diketahui nilai arus gangguan sebesar 6170.3 A. Data gangguan tersebut diambil 80%. Sehingga nilai yang diperoleh adalah :

$$6170.3 \text{ A} \times 80\% = 4936.24 \text{ A}$$

Maka arus gangguan tanahnya adalah 4936.24 A

3.5 Tegangan Sentuh

3.5.1 Umum

Tegangan sentuh adalah tegangan yang muncul saat seseorang terhubung dengan konduktor yang dialiri arus, dimana konduktor dan seseorang tersebut juga terhubung langsung ke bumi (American National Standard. 1986). Ada 2 jenis tegangan sentuh yakni :

3.5.2 Perhitungan Tegangan Sentuh yang diizinkan

Tegangan sentuh maksimal yang diizinkan dapat diketahui dengan rumus.

$$E_S = I_k (R_k + 1.5 \rho_s) \quad (3)$$

Keterangan :

I_k = Arus fibrilasi (0.164 A)

R_k = Nilai tahanan pada badan manusia (1000 Ω)

ρ_s = Tahanan Jenis tanah (2000 Ω -m)

Sehingga :

$$E_s = 0.164 \{1000 + 1.5 (2000)\}$$

$$= 656 \text{ V}$$

Berdasarkan tabel 2. waktu gangguan 0.5 s diketahui tegangan sentuh maksimal yang diizinkan di gardu induk 150 kV Bawen yaitu bernilai 890 V, untuk hasil perhitungan manual nilai tegangan sentuh yang diizinkan yakni bernilai 656 V, hasil tersebut menunjukkan tegangan sentuh maksimal yang diizinkan memiliki tingkatan aman.

Tabel 2. Tegangan sentuh maksimum yang diizinkan dan lama waktu gangguan

No	Waktu gangguan (s)	Tegangan sentuh yang diizinkan (V)
1	0.1	1940
2	0.2	1400
3	0.3	1140
4	0.4	990
5	0.5	890
6	1	626
7	2	443
8	3	362

3.5.3 Perhitungan Tegangan Sentuh yang sebenarnya

Tegangan sentuh maksimum yang sebenarnya dapat dicari dengan rumus sebagai berikut.

$$E_m = K_m K_i \rho \frac{I}{L} \quad (4)$$

Dimana,

$$K_m = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{D^2}{16 h d} + \frac{1}{\pi} \ln \left(\frac{3}{4} x 2^{\frac{(n-1)+1}{(n-1)+2}} \right) \quad (5)$$

Keterangan :

K_i = Faktor koreksi dengan rumus empiris $0.65+0.172n$

$$0.65+0.172 (20) = 4.09$$

D = Jarak konduktor dengan kisi-kisi (4 meter)

h = Dalamnya konduktor yang ditanam (1 meter)

d = Diameter kisi-kisi konduktor(50mm)

n = Banyaknya konduktor (20)

ρ = Tahanan jenis tanah (2000 Ω -m)

I = Arus gangguan tanah (4936.24 A)

L = Total panjang konduktor yang ditaman ke dalam tanah, termasuk batang pengetanahan (4437 meter)

Sehingga hasil diperoleh :

$$E_m = 0.012 \times 4.09 \times 2000 \frac{4936.24}{4437}$$

$$E_m = 109.02 \text{ V}$$

Berdasarkan tabel 3. waktu gangguan 0.5 s diketahui nilai tegangan sentuh yang sebenarnya di gardu induk 150 kV Bawen yakni bernilai 90 V, untuk hasil perhitungan manual nilai tegangan tegangan sentuh yang sebenarnya yakni bernilai 109.02 V, dari hasil tersebut tegangan sentuh yang sebenarnya memiliki tingkatan cukup.

Tabel 3. Tegangan sentuh maksimal yang sebenarnya dan lama waktu gangguan

No	Waktu gangguan (s)	Tegangan sentuh yang sebenarnya (V)
1	5.0	50
2	1.0	75
3	0.5	90
4	0.2	110
5	0.1	150
6	0.05	220
7	0.03	280

3.6 Tegangan Langkah

3.6.1 Umum

Tegangan langkah adalah tegangan yang muncul diantara 2 kaki seseorang dimana seseorang tersebut berdiri tepat diatas tanah yang dilalui arus gangguan (Y.L.Chow, M.M.Elsherbiny, M.M.A.Salama. 1996). Ada 2 jenis tegangan langkah yaitu :

3.6.2 Tegangan Langkah yang diizinkan

Tegangan langkah yang diizinkan dapat diketahui dengan rumus.

$$E_l = I_k (R_k + 6\rho) \quad (6)$$

Keterangan :

I_k = Arus fibrilasi (0.164 Ampere)

R_k = Nilai resistan pada tubuh manusia (1000 Ω -m)

ρ = Nilai tahanan jenis rata-rata disekitar permukaan tanah(3000 Ω -m)

Sehingga,

$$\begin{aligned} E_l &= 0.164 (1000 + 6 \times 3000) \\ &= 3116 \text{ V} \end{aligned}$$

Berdasarkan tabel 4. waktu gangguan 0.5 s tegangan langkah yang diizinkan di gardu induk 150 kV Bawen yaitu bernilai 3140 V, dan hasil perhitungan manual nilai tegangan langkah yang diizinkan menghasilkan nilai lebih kecil yaitu bernilai 3116 V, hasil tersebut tegangan langkah yang diizinkan memiliki tingkatan aman.

Tabel 4. Tegangan langkah yang diizinkan dan lama waktu gangguan

No	waktu gangguan (s)	Tegangan langkah yang diizinkan (V)
1	0.1	7000
2	0.2	4950
3	0.3	4040
4	0.4	3500
5	0.5	3140
6	1.0	2216

3.6.3 Tegangan Langkah yang sebenarnya

Tegangan langkah yang sebenarnya dapat diketahui dengan rumus.

$$E_l = K_s K_i \rho \frac{I}{L} \quad (7)$$

Dimana,

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left(\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{2D} + \frac{1}{(n-1)D} \right)$$

Keterangan :

K_i = Faktor koreksi dengan rumus empiris $0.65+0.172n$

$$0.65+0.172 (20) = 4.09$$

D = Jarak konduktor dengan kisi-kisi (4 meter)

h = Dalamnya konduktor yang ditanam (1 meter)

d = Diameter konduktor yang ditanam (50mm)

n = Banyaknya konduktor (20)

ρ = Tahanan jenis tanah rata-rata (2000 Ω -m)

I = Nilai arus gangguan tanah (4936.24 A)

L = Total panjang konduktor yang ditaman ke dalam tanah, termasuk batang pengetanahan (4437 meter)

Sehingga hasil diperoleh :

$$E_m = 0.217 \times 4.09 \times 2000 \frac{4936.24}{4437}$$

$$E_m = 1947.78 \text{ V}$$

Tegangan langkah sebenarnya adalah 1947.78 V

3.7 Tegangan Pindah

3.7.1 Umum

Tegangan pindah adalah tegangan yang muncul saat seseorang contact atau bersentuhan dengan peralatan yang di pada titik tertentu dimana kondisi peralatan yang disentuh sedang dialiri oleh arus (Tanjung, Abrar. 2009).

3.7.2 Perhitungan Tegangan Pindah

Tegangan pindah dapat dicari dengan rumus sebagai berikut.

$$E_p = I \cdot R_0 \tag{8}$$

Dimana,

$$R_0 = \frac{\rho}{4r} + \frac{\rho}{L}$$

Keterangan :

ρ = Tahanan jenis tanah (2000 Ohm-meter)

L = Panjangnya konduktor pembedaan (4437 meter)

r = Jari-jari ekuivalen luas daerah pembedaan (30 m)

Sehingga hasil diperoleh :

$$\begin{aligned} E_p &= 4936.24 \times 16.45 \\ &= 81.19 \text{ kV} \end{aligned}$$

Tegangan Pindah adalah 81.19 kV

4.PENUTUP

Hasil penelitian ini dapat menghasilkan beberapa kesimpulan yaitu :

- 1) Jenis tanah yang diterapkan di Gardu Induk 150 kV Bawen berupa tanah berbatu dan berpasir dimana tanah tersebut memiliki nilai jenis berturut sebesar 3000 Ω -m dan 1000 Ω -m.
- 2) Dari hasil perhitungan di gardu induk 150 kV Bawen didapat nilai tegangan sentuh maksimum yang di izinkan yaitu bernilai 656 V dan nilai dari tegangan sentuh maksimum yang sebenarnya yakni bernilai 109.02 V.
- 3) Dari hasil perhitungan di gardu induk 150 kV Bawen didapat nilai tegangan langkah yang di izinkan yaitu bernilai 3116 V dan nilai dari tegangan sentuh yang sebenarnya yakni bernilai 1947.78 V.
- 4) Dari hasil perhitungan didapat hasil dari nilai Tegangan Pindah yaitu sebesar 81.19 kV.

PERSANTUNAN

Penelitian tugas akhir ini terselesaikan karena adanya support dari berbagai pihak yang berperan penting dalam pengerjaan penelitian penulis. Penulis berharap laporan memiliki manfaat untuk pembaca dan semua orang. Dalam kesempatan ini penulis ingin berterima kasih kepada :

- 1) Allah SWT dan Nabi Muhammad SAW atas rahmat dan hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan lancar dan sehat walafiat.
- 2) Kepada Orang tua dan saudara yang telah mendukung selama melakukan penelitian ini
- 3) Bapak Ir. Jatmiko, M.T selaku Pembimbing dalam pengerjaan tugas akhir
- 4) Bapak Ponco Sunarwan, Bapak Budiono dan Mas Ali selaku senior supervisor dan petugas di Gardu Induk 150 kV yang telah memberikan izin untuk mengambil data-data yang diperlukan pada penelitian ini.
- 5) Teman-teman Teknik Elektro angkatan 2015, terutama E-sport BABE yang telah mendukung dan memberikan berbagai jenis dukungan kepada penulis dalam penelitian dan pembuatan laporan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- American National Standard. (1986). *IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding*. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. New York.
- Andira, Rezi. (2018). *Analisi Sistem Pentanahan Grid pada Gardu Induk 2 x 500 MVA*. Skripsi. Sumatera Utara: Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara.
- IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System, ANSI/IEEE Std. 81-1983, 1983.
- IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding, IEEE Standard 80-2000, 2000.
- Q. B. Meng, J. L. He, F. P. Dawalibi, and J. Ma. (1999). *A new methods to decrease ground resistances of substation grounding systems in high resistivity regions*. IEEE Trans. Power Delivery, vol. 14, no. 2, pp. 911-916.
- Suyamto. Taufik & Kudus, Idrus Abdul. (2015). *Evaluasi dan perencanaan grounding untuk penangkal petir gedung siklotron*. Pusat Sains Dan Teknologi Akselerator, Badan Tenaga Nuklir Nasional, Babarsari Yogyakarta.
- Syofian, Andi. (2013). *Sistem pentanahan Grid pada gardu induk PLTU Teluk Sirih*. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi industri Institut Teknologi Padang.
- Tanjung, Abrar. (2009). *Analisis Sistem Pentanahan Gardu Induk Bagan Batu Dengan Bentuk Konstruksi Grid (Kisi-Kisi)*. Jurnal Ilmiah. Riau : Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Lancang Kuning.
- Y.L.Chow, M.M.Elsherbiny, M.M.A.Salama. (1996). *Resistance Formulas of Grounding System in Two-Layer Earth*. IEEE Transaction on Power Delivery. Ontario.